KISEP RESEARCH PAPER AUDIOLOGY · 청능재활 2005;1:59-66

한국어 음소의 주파수 특성에 관한 연구

한림대학교 대학원 언어청각학 협동과정,[1] 한림대학교 자연과학대학 언어청각학부, 청각언어연구소[2]

이주현[1] · 장현숙[2] · 정한진[1]

ABSTRACT

A Study on Frequency Characteristics of Korean Phonemes

Joo-Hyun Lee,[1] Hyun-Sook Jang[2] and Han-Jin Chung[1]

[1]Speech Pathology & Audiology, Groduade School, Hallym University, Chuncheon, Korea
[2]Division of Speech Pathology & Audiology, Hallym University, Chuncheon, Korea

The frequency characteristics of Korean phonemes were identified to predict a patient's speech recognition ability based on hearing configuration and to be usefully applied in a hearing-aid fitting process and in auditory training. 20 Koreans (10 males ; 10 females) produced seven Korean monophthongal vowels (/a/, /i/, /u/, /o/, /d/, /=/, /ε/) in context situations and 18 consonants (/k/, /k'/, /kʰ/, /t/, /t'/, /tʰ/, /p/, /p'/, /pʰ/, /s/, /s'/, /ts/, /ts'/, /tsʰ/, /n/, /m/, /l/, /h/) in nonsense mono-syllabic words (CV) and disyllabic words which were a total of 252 words. Data was collected by using Computerized Speech Lab (CSL 4300B) and analyzed by using Praat 4.3.14. The results revealed that eight vowels had different F_1, F_2, and F_3 values. Formants of each vowel had significantly higher frequency values in females than in males. Some consonants such as stops, affricative, and fricative showed significant differences in frequency according to the vowels that followed. Unlike other consonants, nasal and liquid were not significantly affected by vowels that followed. The peak frequencies of consonants followed by vowels appeared as follows : 600−3,500 Hz for /k/, /k'/, /kʰ/ of stops, 4,000 Hz or above for /t/, /t'/, /tʰ/ and 1,000−2,500 Hz for /p/, /p'/, /pʰ/. With the frequency of fricative [s], [s'] were 4,000−6,000 Hz and affricative /ts/, /ts'/, /tsʰ/ were 3,500−5,000 Hz, their frequencies appearing to be higher than stops. Liquid and nasal showed lower than 500 Hz of frequency value. These findings suggest that the frequency band of the Korean phoneme can be usefully applied for evaluation and rehabilitation suitable for Koreans.

KEY WORDS : Korean phonemes · Consonant · Vowel · Frequency characteristics.

INTRODUCTION

청력 손실의 유형과 주요한 청력 손실이 어떤 주파수에 있는가에 따라서 난청자의 어음 변별력은 큰 영향을 받게 된다. 청력도로부터 일상적인 대화 상황에서 말소리를 얼마나 들을 수 있는가를 예견하기 위한 시도들은 오래전부터 계속되어 왔다. Articulation Index는 1947년 French와 Steinberg에 의해 처음 기술되었으며 평균 말소리 신호를 여러 주파수 band로 나누어 각 band마다 어음 인지에 미치는 중요도를 부여함으로써 환자의 청력 손실 정도로 말소리의 듣기 정도를 표현하는 지표로 사용되어왔다.[1)] 또한 Ling 5 sounds test는 어음의 주파수와 강도 범위를 대표하는 5개의 음소를 이용해 만들어진 것[2)]으로 5개 음소를 통해서 난청자가 어음 영역의 소리들을 들을 수 있는 지를 간편하게 평가할 수 있어서 임상에서 유용한 도구로 사용되고 있다. 이러한 주파수에 따른 청력손실 유형으로 어음인지도를 예견하기 위해서는 음소의 주파수 특성에 대한 정보가 선결되어야 한다.

모음은 구어에서 대부분의 성도 에너지를 전달하는데 모음의 특징은 포먼트(formant) 에너지에 의해 결정된다. 포먼트는 성도 여과기가 갖는 공명 주파수로 인하여 생기는 것으로 모음을 확인하는 데에는 F_1, F_2, F_3의 주파수 값이 중요하다.[3)] 이런 모음의 포먼트 주파수 값은 성별, 모음 수집 환경 등에 의해 영향을 받는다. 즉, 여성이 남성보다 높은 포먼트 주파수 값을 보이며,[4)] 단모음의 포먼트 주파수 값은 고립 환경에서 보다 문맥 환경에서 F_1과 F_2의 주파수 값이 더 높게 나타난다.[5)] 영어에서 대부분의 모음 F_1 주파수 값

논문접수일 : 2005년 11월 2일
심사완료일 : 2005년 11월 28일
교신저자 : 장현숙, 200-702 강원도 춘천시 옥천동 한림대학길 39 한림대학교 자연과학대학 언어청각학부, 청각언어연구소
전화 : (033) 248-2218 · 전송 : (033) 256-3420
E-mail : hsjang@hallym.ac.kr

은 1000 Hz 이하에서 나타나고, F_2와 F_3의 주파수 값은 주로 1,000~3,500 Hz의 범위에서 나타난다.[2)] 한국어도 이와 유사한 범위를 보이는데 한국어 단모음 F_1, F_2, F_3 값의 주파수 범위는 /아/가 723~2,582 Hz, /이/는 297~2,810 Hz, /우/는 340~2,434 Hz, /오/는 430~2,614 Hz, /으/는 334~2,270 Hz, /어/는 569~2,738 Hz, /애/는 523~2,729 Hz로 나타난다.[6)]

자음은 모음에 비해 에너지가 약하지만 주파수 범위가 넓고, 대부분의 구어 명료도에 기여한다.[7)] 자음은 조음위치, 조음방법, 유 · 무성에 의해 구별될 수 있지만 한국어에서는 영어와는 달리 유 · 무성으로 자음을 구별하기 보다는 기식성과 긴장성에 의해 평음, 경음, 격음으로 구별한다.[8)] 한국어의 자음은 조음위치에 따라서 양순음, 치조음, 치조경구개음, 연구개음, 성문음으로 분류되고, 조음방법에 따라서 폐쇄음(파열음), 마찰음, 파찰음, 비음, 유음으로 분류된다. 한국어의 자음에 대한 연구는 대부분 음향학적 특징에 대한 것으로 주파수에 관한 연구는 모음에 비해 상대적으로 많이 이루어지지 않았다. 자음은 조음 방법에 따라서 주파수 범위가 다르게 나타난다. 마찰음과 파찰음 계열의 자음은 비교적 높은 주파수대에서 나타난다. 영어에서 /s/와 /z/는 6,000 Hz 이상에서 spectral peak가 형성되며,[8)] 한국어에서 /ㅅ/의 평균 중심 주파수는 약 6,200 Hz에서 /ㅆ/는 6,600 Hz에서 나타나고,[9)] /자/, /짜/, /차/의 평균 center of gravity 값은 약 5,900 Hz로 측정된다.[10)] 영어의 폐쇄음 중 /b/와 /p/는 500~1,500 Hz, /g/와 /k/는 1,500~4,000 Hz, /d/와 /t/는 4,000 Hz 이상의 주파수 범위를 보인다.[11)] 또한 동일한 자음이라고 후행하는 모음에 따라서 주파수 값에 차이를 보이는 경우가 있는데, Halle 등[11)]은 폐쇄음 중 /k/와 /g/가 특히 후행하는 모음에 따라서 주목할 만한 차이를 보인다고 하였다. 즉, F_2의 주파수 값이 1,200~1,500 Hz 이상인 전설 모음 앞에서는 주파수 범위가 2,000~4,000 Hz로 나타났고, F_2의 주파수 값이 1,200 Hz 이하인 후설 모음 앞에서는 훨씬 더 낮은 주파수대로 나타났다.

Table 1. Two syllable word lists in test

	후행 모음						
	/아/	/이/	/우/	/오/	/으/	/어/	/애/
/ㄱ/	가방	기린	구두	고래	그네	거미	개미
/ㄲ/	까치	끼리	꾸다	꼬리	끄다	꺼리	깨다
/ㅋ/	카레	키위	쿠키	코피	크림	커피	캐다
/ㄴ/	나비	니스	누나	노래	느낌	너비	내기
/ㄷ/	다리	디스	두부	도장	드럼	더위	대장
/ㄸ/	따다	띠다	뚜껑	또래	뜨다	떠다	때다
/ㅌ/	타다	티눈	투수	토끼	트럭	터널	태국
/ㄹ/	라면	리본	루즈	로봇	르포	러브	래몬
/ㅁ/	마술	미술	무용	모자	므다	머리	매미
/ㅂ/	바다	비누	부채	보석	브이	버석	배추
/ㅃ/	빠다	삐다	뿌리	뽀뽀	쁘다	뻐스	빼기
/ㅍ/	파리	피리	푸딩	포도	프로	퍼즐	패기
/ㅅ/	사탕	시계	수영	소금	스키	서다	새장
/ㅆ/	싸리	씨앗	쑤다	쏘다	쓰다	써다	쌔다
/ㅈ/	자리	지구	주먹	조개	즈음	저울	재미
/ㅉ/	짜다	찌다	쭈다	쪼다	쯔다	쩌다	째다
/ㅊ/	차고	치약	추석	초가	츠다	처마	채소
/ㅎ/	하늘	히트	후추	호수	흐림	허리	해초

어음이 어떤 주파수에 분포되어 있는 지 알 수 있다면 청력 손실의 유형에 따른 어음 인지 능력을 예측할 수 있게 되고, 보청기 적합과 청능 훈련과 같은 재활 프로그램뿐만 아니라 상담과정에서도 유용하게 사용될 수 있다. 이러한 유용성에도 불구하고 한국어 어음의 주파수 분석은 대부분의 실제 임상에서 사용하는 영어의 주파수 분포도를 대치할 만큼 이루어지지 않은 것이 사실이다. 따라서 한국어에 대한 주파수 분석이 반드시 필요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 청력 손실의 유형에 따른 말소리 듣기 능력의 예측, 보청기 적합과 예견, 청능 훈련 목표 선정과 상담 등에 유용하게 사용하기 위해 한국어 음소의 주파수 특성을 알아보고자 하였다. 이를 위해 첫째, 문맥 환경에서 모음의 주파수 범위를 측정하고 둘째, 후행 모음에 따른 자음의 주파수 범위를 측정하였다.

MATERIALS AND METHODS

연구 대상

연구 대상은 표준말을 사용하는 성인 20명(남 10명, 여 10명)으로 구성하였다. 남성 피험자의 연령 범위는 만 23~29세(평균 25.2세)였고, 여성 피험자의 연령 범위는 21~29세(평균 23.7세)였다. 이들을 대상으로 출생지, 부모의 방언사용 유 · 무, 치과 치료 병력, 감기 유 · 무, 발음상의 특이사항, 청각과 관련된 병력사항 등에 대한 설문조사를 실시하였으며 대상자 개별 인터뷰를 통하여 표준말 사용 여부와 발음상에 문제가 없는지를 확인하였다.

연구 자료 및 절차

어음목록

어음 목록 중 모음은 신지영(2000)에 따른 7개의 한국어 단모음(/아/, /이/, /우/, /오/, /으/, /어/, /애/)을 사용하였으며 "나는 ______라고 말합니다."와 같은 carrier phrase를 사용하여 녹음하였다.

자음 목록은 한국어 중 /ㅇ/를 제외한 18개 자음(/ㄱ/, /ㄲ/, /ㅋ/, /ㄴ/, /ㄷ/, /ㄸ/, /ㅌ/, /ㄹ/, /ㅁ/, /ㅂ/, /ㅃ/, /ㅍ/, /ㅅ/, /ㅆ/, /ㅈ/, /ㅉ/, /ㅊ/, /ㅎ/)을 종성이 없는 무의미 1음절 단어와 어

두 초성에 목표 자음이 포함되어 있는 2음절 단어(Table 1)로 구성하였다. 2음절 단어는 의미 있는 단어로 구성하였으나 ‘ 므 ’, ‘ 쁘 ’등과 같이 의미 있는 단어를 만들 수 없는 경우에는 무의미 단어를 사용하였다. 각 목표 자음은 7개의 단모음과 결합하여 14개의 단어를 만들었고, 총 252개의 단어 목록을 사용하였다.

자료수집 및 분석 절차

자료의 수집은 Kay Elemetrics의 Computerized Speech Lab(CSL 4300B)을 이용하였고, 녹음 장소는 조용한 음성 분석실이었다. 마이크는 SHURE SM 48을 사용하였으며 피험자가 의자에 편안하게 앉은 상태에서 마이크를 피험자의 입과 10 cm 떨어지도록 조절한 뒤 녹음할 어음 목록을 제시하였다. 검사를 시작하기 전에 검사자는 피험자에게 ‘ 평소에 사용하는 목소리로 자연스럽게 읽어주세요. 각 단어를 말한 뒤 2초 후에 다음 단어를 말해주세요. ’라고 검사 절차에 대해 설명해 주었다. 각 어휘 목록은 2번 반복하여 녹음하였고, 어휘 목록이 바뀔 때 마다 5분간의 음성 휴식을 취하게 하였다. 1명의 검사에 소요되는 시간은 약 40분이었다.

모음의 수집 및 분석

모음 자료의 녹음은 표본 표출율을 11,025 Hz로 설정하였다. 분석은 Praat 4.3.14로 하였으며 일정한 파형을 나타내는 모음 구간 100 msec를 선택하고, 그 이외의 영역은 잘라내었다. 남겨진 구간에 대해 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 실시하였고, 그 수량 결과(numerical result)에 나타난 F_1, F_2, F_3 값을 소수점 아래 두 자리까지 반올림하여 기록하였다. 이 결과와 스펙트로그램 상에 나타난 포먼트 주파수값을 비교하여 최종 F_1, F_2, F_3의 주파수 값을 산출하였다.

자음의 수집 및 분석

자음 자료의 녹음은 표본 표출율을 41,015 Hz로 설정하였고, 분석은 Praat 4.3.14로 하였다. 폐쇄음 /ㄱ/, /ㄲ/, /ㅋ/, /ㄷ/, /ㄸ/, /ㅌ/, /ㅂ/, /ㅃ/, /ㅍ/는 모음의 정보와 기식부분을 배제하기 위해 파열(burst) 시작 지점부터 25 msec까지의 구간을 선택하였으나 경음 /ㄲ/, /ㄸ/, /ㅃ/는 자음 구간이 평음과 격음보다 짧으므로 15 msec를 선택하였다. 선택된 구간은 선행강조(Preemphasized)를 50 Hz로 하여 FFT(Fast Fourier Transforms) 분석을 실시하였다. 이 분석된 결과를 정점 주파수(peak frequency) 측정을 쉽게 하기 위해 다시 LPC(Linear Predictive Coding) smoothed를 실시하여 정점 주파수를 측정하였다. 마찰음 /ㅅ/, /ㅆ/, /ㅎ/와 파찰음 /ㅈ/, /ㅉ/, /ㅊ/는 마찰성 잡음 부분 중 20 msec을 선택하여 폐쇄음과 동일한 방법으로 정점 주파수를 측정하였다. 비음 /ㄴ/, /ㅁ/과 유음 /ㄹ/은 포먼트가 형성되는 부분 중 20 msec을 선택하여 다른 자음과 동일한 방법으로 정점 주파수를 측정하였다.

통계 분석

통계처리는 SPSS 11.5를 사용하였다. 7개 모음의 F_1, F_2, F_3 주파수 값의 평균과 표준 편차를 구하였고, 모음별, 성별에 따라서 F_1, F_2, F_3 주파수 값에 차이가 있는 지를 알아보기 위해 이원분산분석을 실시하였으며 사후 검정으로 Duncan을 실시하였다.

자음은 조음 방법에 따라서 폐쇄음, 마찰음, 유음, 비음으로 구별하여 분석하였고, 각 자음의 정점 주파수(peak frequency) 값의 평균과 표준 편차를 구하였다. 자음은 모음의 정보를 최대한 배제하였기 때문에 남성과 여성 간의 주파수 차이에 대한 분석은 실시하지 않았다. 후행하는 모음과 자음의 긴장성, 기식성에 따라 정점 주파수 값에 차이가 있는지를 알아보기 위해 이원분산분석을 실시하였으며 사후 검정은 Duncan으로 하였다.

RESULTS

모음의 포먼트 분석

남성과 여성이 발화한 7개 단모음의 각 F_1, F_2, F_3 주파수 평균과 표준편차는 Table 2와 같다. 모음의 각 F_1, F_2, F_3 값이 성별과 모음에 따라 차이가 있는지를 알아보기 위해 이원분산분석을 각각 실시한 결과, 각 F_1, F_2, F_3 값에서 성별과 모음에 따라 유의한 차이를 보였다($p<.01$). 모든 모음에서 여성의 F_1, F_2, F_3 주파수 값이 남성보다 유의미하게 높

Table 2. Distriution of means and standard deriations (Hz) for the test Korean non-syllale word formant (F_1, F_2, F_3) fresuercies

		F_1 Mean (SD)	F_2 Mean (SD)	F_3 Mean (SD)
/아/	남성	651 (136)	1156 (77)	2515 (157)
	여성	945 (83)	1582 (141)	2980 (168)
/이/	남성	236 (30)	2183 (136)	3149 (201)
	여성	273 (22)	2864 (109)	3584 (94)
/우/	남성	324 (43)	595 (140)	2508 (155)
	여성	346 (28)	810 (106)	2650 (170)
/오/	남성	320 (56)	587 (132)	2580 (266)
	여성	371 (25)	700 (72)	2607 (176)
/으/	남성	317 (27)	1218 (155)	2345 (137)
	여성	390 (34)	1752 (191)	2867 (60)
/어/	남성	445 (103)	845 (149)	2600 (214)
	여성	576 (78)	961 (87)	3033 (136)
/애/	남성	415 (56)	1848 (99)	2536 (143)
	여성	545 (21)	2436 (95)	3135 (90)

았다. 모음에 따라서는 F_1의 주파수 값이 가장 낮은 모음은 전설 고모음인 /이/로 남성은 평균 236 Hz, 여성은 273 Hz였고, 가장 높은 모음은 후설 저모음인 /아/로 남성은 평균 651 Hz, 여성은 945 Hz로 나타났다. 후설 고모음인 /우/와 /으/, 후설 중모음인 /오/의 F_1 주파수 값은 300 Hz대였고, 전설 중모음인 /애/와 후설 중모음인 /어/는 450~550 Hz대에서 나타났다. F_1의 주파수 값은 고모음인 경우에는 비교적 낮았고, 저모음인 경우에는 높게 나타났다. F_2의 주파수 값이 가장 낮은 모음은 후설 모음인 /우/와 /오/였다. /우/의 F_2 주파수 값 평균은 남성이 600 Hz, 여성은 810 Hz로 나타났고, /오/는 남성이 587 Hz, 여성이 700 Hz였다. F_2의 주파수 값이 가장 높은 모음은 전설 모음인 /이/와 /애/로 나타났고, /이/의 주파수 값 평균은 남성이 2,183 Hz, 여성이 2,864 Hz였으며, /애/는 남성이 1,848 Hz, 여성이 2,436 Hz였다. F_2의 주파수 값은 전설 모음이 후설 모음보다 상대적으로 높은 것으로 나타났다. F_3의 주파수 값은 /이/가 3,000 Hz대에서 나타나 가장 높았으며 다른 모음에서는 F_1, F_2의 주파수 값에 비해 상대적으로 큰 차이를 나타내지 않았다.

자음의 주파수 분석

자음은 조음 방법에 따라서 폐쇄음, 마찰음 및 파찰음, 비음 및 유음으로 구분하여 분석하였다. 후행하는 모음에 따른 각 자음의 평균 주파수는 Table 3과 같다. 한국어의 18개 자음들 중에서 가장 낮은 주파수 값을 나타내는 자음은 비음인 /ㄴ/, /ㅁ/와 유음인 /ㄹ/였다. 7개의 단모음과 결합된 /ㄴ/의 주파수 값은 233~258 Hz, /ㅁ/는 239~247 Hz, /ㄹ/는 267~302 Hz의 범위를 나타내었다. 유음과 비음은 후행하는 모음에 따라 평균 주파수 값에 유의미한 차이가 없었다(p>.05).

Table 3. Distriution of mean fresuercies (Hz) for the test Korean consonants and following vowels

	후행 모음 (Hz)						
	/오/	/우/	/어/	/아/	/으/	/애/	/이/
/ㄴ/	252	250	244	233	244	246	258
/ㅁ/	241	246	242	239	242	242	247
/ㄹ/	289	267	297	284	302	281	272
/ㄱ/	639	678	1113	1531	1490	3043	3365
/ㄲ/	660	691	1128	1471	1518	2959	3286
/ㅋ/	695	756	1147	1516	1523	2979	3308
/ㅂ/	1234	1241	1162	1072	1302	1742	2473
/ㅃ/	1250	1238	1351	1212	1299	1621	2011
/ㅍ/	1270	1315	1203	1161	1295	1827	2331
/ㅎ/	956	1090	962	1176	1481	2144	3093
/ㄷ/	3727	3876	4575	4113	5161	4588	4741
/ㄸ/	3840	3814	4773	4780	4932	4481	4977
/ㅌ/	3876	3960	4508	4115	5195	4379	4838
/ㅈ/	3671	4637	4556	5386	5215	5260	5338
/ㅉ/	3435	4816	4821	5608	5485	5664	5591
/ㅊ/	3362	4360	4676	5208	5113	5204	5412
/ㅅ/	4044	4281	5691	6461	6336	6374	5049
/ㅆ/	4357	4510	6100	6641	6613	6767	5567

폐쇄음 중 /ㄱ/는 639~3,365 Hz, /ㄲ/는 660~3,286 Hz, /ㅋ/는 695~3,308 Hz의 주파수 범위를 보였다. 세 자음의 평균 정점 주파수 값이 긴장성, 기식성과 후행 모음에 따라 차이가 있는 지를 알아보기 위해 이원분산분석을 실시한 결과, 긴장성 및 기식성에 따라서는 /ㄱ/, /ㄲ/, /ㅋ/ 간에 유의한 차이가 없었지만(p>.05) 후행하는 모음에 따라서는 유의한 차이를 보였다(p<.01). /ㅂ/는 1,072~2,743 Hz, /ㅃ/는 1,212~2,011 Hz, /ㅍ/는 1,161~2,331 Hz의 주파수 범위를 나타내었고 기식성에 따라 각 자음 간에 평균 주파수 값에는 유의한 차이가 없었지만(p>.05) 후행하는 모음에 따라서는 /ㄱ/, /ㄲ/, /ㅋ/ 간에 유의한 차이를 보였다(p<.01). 폐쇄음 중 가장 높은 주파수 범위를 보인 자음은 /ㄷ/, /ㄸ/, /ㅌ/로 /ㄷ/는 3,727~5,161 Hz, /ㄸ/는 3,814~4,977 Hz, /ㅌ/는 3,876~5,195 Hz의 비교적 높은 평균 주파수 값을 보였으며. 긴장성 및 기식성에 따라 각 자음 간에 유의한 차이가 없었지만(p>.05) 후행하는 모음에 따라서는 유의한 차이를 보였다(p<.01). 이처럼 폐쇄음들은 후행하는 모음에 따라서 평균 주파수 값의 변화를 보였는데 가장 큰 주파수 변화를 나타낸 자음은 폐쇄음 중 /ㄱ/, /ㄲ/, /ㅋ/였다. 후행 모음으로 /이/가 올 때 주파수 값이 가장 높았으며 /우/, /오/가 왔을 때는 주파수 값이 가장 낮았다. 주파수 값이 가장 높을 때와 가장 낮을 때의 차이는 약 2,500 Hz였다. /ㅂ/, /ㅃ/, /ㅍ/에서는 후행 모음으로 /이/가 올 때에 다른 후행 모음이 오는 경우보다 평균 주파수 값이 약 1,000 Hz 더 높게 나타났다. /ㄷ/, /ㄸ/, /ㅌ/는 후행하는 모음이 /우/와 /오/가 오는 경우에 다른 후행 모음이 오는 경우보다 평균 주파수 값이 더 낮게 나타났다.

자음들 중 가장 높은 평균 주파수 값을 나타낸 자음은 마찰음 /ㅅ/와 /ㅆ/로 그 주파수 범위는 /ㅅ/가 4,044~6,461 Hz, /ㅆ/가 4,357~6,767 Hz였다. 긴장성 및 기식성과 모음에 따라 두 자음의 평균 정점 주파수 값에 차이가 있는지 알아보기 위해 이원분산분석을 실시한 결과, 긴장성 및 기식성과 후행하는 모음에 따라서 /ㅅ/와 /ㅆ/ 간에 모두 유의한 차이를 보였다(p<.01). 즉 경음 /ㅆ/의 주파수 평균값이 평음 /ㅅ/의 평균 주파수 값 보다 유의미하게 높게 나타났으며, 후행하는 모음에 따라서는 /오/와 /우/가 가장 낮았고, 그 다음으로 /이/였으며, /으/, /아/, /애/가 가장 높게 나타났다. 그러나 마찰음인 /ㅎ/는 다른 마찰음 계열의 자음들과는 달리 비교적 낮은 평균 주파수 값을 나타내었고 후행하는 모음에 따라 평균 주파수 값에 유의미한 차이가 없었다(p>.05). 그 주

파수 범위는 956~3,093 Hz로 폐쇄음 계열과 비슷한 주파수 범위를 보였다.

파찰음인 /ㅈ/, /ㅉ/, /ㅊ/는 마찰음 다음으로 평균 주파수 값이 높게 나타났으며 /ㅈ/가 3,671~5,384 Hz, /ㅉ/는 3,435~5,664 Hz, /ㅊ/는 3,362~5,412 Hz의 주파수 범위를 보였다. 통계분석 결과 긴장성 및 기식성에 따라서는 /ㅈ/, /ㅊ/, /ㅉ/ 간에 유의미한 차이를 보였는데($p<.05$), 격음 /ㅊ/의 평균 주파수 값이 경음 /ㅉ/의 평균 주파수 값보다 유의미하게 낮게 나타났으나 /ㅈ/와 /ㅊ/, /ㅈ/와 /ㅉ/의 평균 주파수 값에는 유의한 차이가 없었다. 후행하는 모음에 따라서도 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($p<.01$). 사후검정을 실시한 결과, /오/가 평균 주파수 값이 가장 낮았고, 그 다음이 /우/와 /어/였으며, /으/, /애/, /아/, /이/ 가 높게 나타났다.

표준어를 사용하는 20명의 피험자가 발화한 7개 한국어 단모음과 후행하는 모음에 따른 18개의 자음에 대한 주파수 분석 결과는 Fig. 1과 같다.

DISCUSSIOUS

한국어의 모음은 조음 동작에 따라서 크게 단모음(monothong)과 이중모음(diphthong)으로 구별된다. 단모음은 /i/, /u/, /o/, /a/, / ɛ /, /d/, /=/의 7모음 체계로 나타낼 수 있고, 이중 모음은 /j ɛ /, /ja/, /ju/, /j=/, /jo/, /wi/, /w ɛ /, /wa/, /w=/, /di/의 10모음으로 나타낼 수 있다.[3] 모음의 포먼트 주파수 값은 성별, 모음 수집 환경 등에 의해 영향을 받는다. 모음의 포먼트 주파수는 성도의 길이와 형태에 따라 다르게 나타난다.[12] 남성과 여성은 성도의 길이가 서로 다르기 때문에 모음 포먼트 주파수 값에서 차이를 나타내는데 일반적으로 여성이 남성보다 기본주파수(fundamental frequency)와 포먼트 주파수(formant frequency) 값이 더 높게 나타난다.[13] 모음의 포먼트 주파수 값은 모음 수집 환경에 따라서도 다르게 나타났다.[5] 단모음의 포먼트 주파수 값은 고립 환경보다 문맥 환경에서 F_1과 F_2의 주파수 값이 더 높은 것으로 나타났다.

본 연구에서 모음의 포먼트 주파수 값을 측정한 결과, 성별에 따라서 각 포먼트 주파수 값에 차이가 있었는데 여성이 남성보다 높은 포먼트 주파수 값을 보였다. 남성과 여성의 평균 주파수 값을 살펴보았을 때, 모음 /아/의 평균 F_1 주파수 값은 798 Hz, F_2 주파수 값은 1,369 Hz, F_3 주파수 값은 2,748 Hz로 F_1 주파수 값이 다른 모음보다 상대적으로

Fig. 1. Frequency ranges of Korean phonemes.

높게 측정되었고, /이/의 평균 F_1 주파수 값은 255 Hz, F_2 주파수 값은 2,523 Hz, F_3 주파수 값은 3,366 Hz로 F_1과 F_2의 주파수 범위가 넓게 나타났다. /우/의 평균 F_1 주파수 값은 335 Hz, F_2 주파수 값은 702 Hz, F_3 주파수 값은 2,579 Hz였고, /오/의 평균 F_1 주파수 값은 335 Hz, F_2 주파수 값은 726 Hz, F_3 주파수 값은 2,593 Hz로 /우/와 /오/의 포먼트 주파수 값에는 유의한 차이가 없었다. /으/의 평균 F_1 주파수 값은 354 Hz, F_2 주파수 값은 1,485 Hz, F_3 주파수 값은 2,606 Hz였고, /어/의 평균 F_1 주파수 값은 510 Hz, F_2 주파수 값은 903 Hz, F_3 주파수 값은 2,817 Hz로 나타났으며 /애/의 평균 F_1 주파수 값은 480 Hz, F_2 주파수 값은 2,142 Hz, F_3 주파수 값은 2,817 Hz로 측정되었다. 한국어 단모음에 대한 기존의 연구들[6)14)]과 비교해 볼 때 대부분의 모음에서 더 넓은 주파수 범위를 보였는데 이는 모음 수집 환경에 따른 차이라고 여겨진다. 예를 들어, Yang[14)]의 연구와 비교할 때 /오/, /어/, /으/, /애/의 F_1 값이 낮게 측정되었는데, Yang[14)]의 연구는 모음 수집 환경을 /h(V)da/로 본 연구에서 carrier phrase를 사용한 것보다 더 문맥적인 요소를 가지므로 높은 주파수 값을 얻은 것이라 생각된다. 대부분의 한국어 단모음 F_1 주파수 값이 1,000 Hz 이하, F_2와 F_3의 주파수 값이 주로 1,000~3,500 Hz의 범위에서 측정되어 영어 모음의 주파수 범위와 유사하였다.

자음의 주파수 분석을 한 결과 후행하는 모음에 따라서 주파수 범위가 다르게 나타났다. 후행하는 모음에 따른 자음의 평균 주파수 값을 분석한 결과 폐쇄음, 마찰음, 파찰음은 모두 후행하는 모음에 의해 평균 주파수 값이 통계적으로 유의미하게 변하였으나, 유음과 비음은 후행하는 모음에 영향을 받지 않았다. 폐쇄음 /ㄱ/, /ㄲ/, /ㅋ/는 후행 모음으로 /이/와 /애/가 올 때 평균 주파수 값이 가장 높아졌고, /우/와 /오/가 후행 모음으로 올 때 평균 주파수 값이 가장 낮게 측정되었다. 가장 낮은 평균 주파수 값과 가장 높은 평균 주파수 값은 약 1,500 Hz의 차이를 보였다. /ㅂ/, /ㅃ/, /ㅍ/는 후행 모음으로 /이/가 올 때 다른 모음들이 오는 경우 보다 평균 주파수 값이 약 1,000 Hz가 높게 나타났다. /ㄷ/, /ㄸ/, /ㅌ/는 후행 모음으로 /우/와 /오/가 나타날 때 평균 주파수 값이 더 낮게 측정되었다. 마찰음 /ㅅ/와 /ㅆ/, 파찰음 /ㅈ/, /ㅉ/, /ㅊ/도 후행 모음으로 /우/와 /오/가 올 때 다른 모음이 오는 경우보다 평균 주파수 값이 더 낮게 형성되었다. Halle 등[11)]은 영어에서 후행 모음에 가장 영향을 받는 자음은 /k/와 /g/라고 하였고, 전설 모음 앞에서는 주파수 범위가 2,000~4,000 Hz로 후설 모음 앞에서는 주파수 값이 훨씬 낮게 측정된다고 하였다. 본 연구에서는 이러한 기존의 연구와 동일한 결과를 얻었으며 또한 한국어가 영어보다 후행하는 모음에 의해 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러므로 본 연구의 결과는 난청자들의 청력 손실 유형에 따라서 같은 자음이라도 후행하는 모음에 따라서 들을 수 있는 어음도 있고, 들을 수 없는 어음도 있다는 사실을 새롭게 제시하였다. 이러한 연구 결과는 상담이나 보청기 적합 과정에서 난청자의 말소리 듣기 능력을 예측하는 데 유용하게 사용될 수 있고, 청능 훈련을 실시할 때에 후행하는 모음을 고려하여 목표 자음의 대립쌍을 구성하면 보다 효과적인 청능 훈련을 할 수 있게 된다는 이점을 가지고 있다. 예를 들어 2,000 Hz 이상에서의 고주파수 난청을 가지고 있는 경우 같은 /ㄱ/ 음소를 듣더라도 후행 모음으로 /우/나 /오/가 오는 단어는 /ㄱ/ 음소를 충분히 들을 수 있지만 후행 모음으로 /이/나 /애/가 오는 경우에는 /ㄱ/ 음소를 들을 수 없게 된다. 따라서 /ㄱ/에 대한 청능 훈련을 실시할 때에 난이도를 조절하기 위해서 훈련 초기에는 /ㄱ/ 음소 뒤에 /우/나 /오/ 모음이 오도록 하고, 그 후에 /이/나 /애/모음이 들어간 단어를 훈련하도록 한다면 청능 훈련의 효과를 최대로 높일 수 있을 것이다.

7개의 단모음이 후행되었을 때 자음들 중 가장 높은 주파수대를 나타내는 것은 마찰음 /ㅅ/, /ㅆ/로 /ㅅ/의 주파수 범위는 4,000~6,500 Hz였고, /ㅆ/는 4,300~6,700 Hz였다. 파찰음인 /ㅈ/의 주파수 범위는 3,600~5,300 Hz, /ㅉ/는 3,400~5,600 Hz, /ㅊ/는 3,300~5,400 Hz였다. 마찰음인 /ㅎ/는 다른 마찰음 계열의 자음들과는 다르게 비교적 낮은 주파수대인 950~3,000 Hz에서 나타났다. 이 결과를 영어 /s/와 /z/의 주파수 범위를 3,500~8,000 Hz로 나타낸 Skinner(1978)의 연구[15)]와 비교하여 볼 때 본 연구에서의 주파수 범위가 더 좁게 나타났다. 마찰음 /ㅅ/, /ㅆ/와 파찰음 /ㅈ/, /ㅉ/, /ㅊ/는 성별에 따라서 주파수 값에 유의한 차이가 있었는데 본 연구에서는 성별을 고려하지 않았기 때문에 주파수 범위가 영어보다 더 좁게 나타난 것이라고 생각된다. 따라서 후속 연구에서는 성별에 따라서 마찰음 계열 자음들의 주파수 범위를 나타낼 필요가 있을 것이다.

본 연구에서 폐쇄음 /ㅂ/, /ㅃ/, /ㅍ/의 주파수 범위는 1,000~2,400 Hz, /ㄱ/, /ㄲ/, /ㅋ/는 600~3,300 Hz, /ㄷ/, /ㄸ/, /ㅌ/는 3,800~5,000 Hz로 나타났다. 이는 영어의 /b/와 /p/의 주파수 범위는 500~1,500 Hz, /g/와 /k/는 1,500~4,000 Hz, /d/와 /t/는 4,000 Hz 이상에서 나타난다는 연구[11)]와 비교하여 볼 때 폐쇄음에서 주파수가 높은 순서는 동일하지만 각 음소의 주파수 범위는 더 넓게 나타났다고 할 수 있다. 본 연구에서 가장 낮은 주파수 값을 나타낸 유음 /ㄹ/의 평균 주파수 값은 280 Hz, 비음 /ㄴ/와 /ㅁ/의 평균 주파수 값은 240 Hz였으며 이는 영어와 동일하였다.[16)17)]

본 연구의 자음 분석에서 폐쇄음은 파열부의 시작 지점부터 25 msec까지의 구간을 선택하였고, 마찰음은 마찰 소음 부분의 20 msec을 선택하여 주파수를 분석하였다. 기존 연

구[18]에서는 폐쇄음의 파열부 시작 지점부터 20 msec까지의 구간을 선택하여 주파수 측정을 하였고, 이 구간에 대한 지각 검사를 실시하였다. 본 연구에서는 폐쇄음의 구간을 잘랐을 때 연구자가 자음을 구별할 수 있었던 최소한의 길이인 25 msec을 폐쇄음의 분석 구간으로 정하였지만 후속 연구에서는 신뢰성을 높이기 위해 자음 분석 구간에 대한 지각 검사도 병행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 단어목록을 목표 자음이 어두 초성에 포함된 단어만으로 구성하였고, 목표자음이 어중이나 어말에 들어간 단어는 고려하지 않았다. 따라서 본 연구의 결과가 한국어 음소의 주파수를 모두 반영했다고 할 수는 없으나 한국어의 단모음과 모음에 따른 자음의 주파수 범위를 제시한 것으로 실제 임상에서 유용하게 사용할 수 있는 기초 자료가 될 것이다.

CONCLUSIONS

본 연구는 한국어 음소의 주파수를 분석함으로써 청력손실의 유형에 따른 난청자의 어음 듣기 능력을 쉽게 예측할 수 있도록 하고, 보청기 적합, 청능 훈련 목표 선정과 상담 등에 유용하게 사용하고자 하였다. 표준어를 사용하는 20명의 남 · 여 성인을 대상으로 녹음한 한국어의 7개 단모음과 /ㅇ/를 제외한 18개 자음의 주파수 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 모음은 각각 서로 다른 포먼트 평균 주파수 값을 나타내었고, 여성의 포먼트 평균 주파수 값이 남성보다 유의미하게 높았다. 한국어 단모음의 주파수 범위는 F_1은 남성이 236~651 Hz, 여성이 273~945 Hz였고, F_2는 남성이 587~2,183 Hz, 여성이 700~2,864 Hz였으며, F_3은 남성이 2,345~3,149 Hz, 여성이 2,607~2,584 Hz였다, 모음의 주파수 범위는 영어와 유사하게 나타났다.

둘째, 자음들 중 가장 높은 주파수대를 나타내는 것은 마찰음과 파찰음이었으며 주파수 범위가 4,000~7,000 Hz인 마찰음 /ㅅ/와 /ㅆ/가 3,500~5,500 Hz의 주파수 범위를 보이는 파찰음 /ㅈ/, /ㅉ/, /ㅊ/보다 더 높은 주파수대를 나타내었다. 그러나 /ㅎ/는 1,000~3,000 Hz의 주파수 범위를 보여 다른 마찰음 계열의 자음들보다 상대적으로 낮은 주파수대를 나타내었다. 폐쇄음들 중 가장 높은 주파수 범위를 나타낸 것은 /ㄷ/, /ㄸ/, /ㅌ/로 3,800~4,800 Hz의 주파수 범위를 보였고, 그 다음으로는 650~3,300 Hz의 주파수 범위를 보인 /ㄱ/, /ㄲ/, /ㅋ/가 왔고, 폐쇄음 중 가장 낮은 주파수 범위를 나타낸 것은 /ㅂ/, /ㅃ/, /ㅍ/로 1,000~2,500 Hz의 주파수 범위를 보였다. 비음인 /ㄴ/, /ㅁ/와 유음 /ㄹ/는 500 Hz 이하의 저주파수대에서 나타나 자음들 중 가장 낮은 주파수대로 나타났다.

셋째, 자음들 중 폐쇄음과 마찰음은 후행하는 모음에 따라서 주파수 값에 유의한 차이가 있었다. 폐쇄음 중 /ㄱ/, /ㄲ/, /ㅋ/와 /ㅂ/, /ㅃ/, /ㅍ/는 후행 모음으로 전설모음인 /이/가 올 때에 다른 후행 모음이 오는 경우보다 주파수 값이 높게 나타났다. 또한 /ㄱ/, /ㄲ/, /ㅋ/는 후행 모음으로 /우/와 /오/가 올 때에 다른 모음들보다 주파수값이 낮게 나타났으며 자음들 중 후행 모음에 따라서 주파수 값에 가장 큰 영향을 받았다. 마찰음 중 /ㅅ/, /ㅆ/는 고모음인 /우/와 /이/, 중모음인 /오/가 후행 모음으로 올 때에 다른 모음들보다 주파수 값이 더 낮게 나타났다. 비음과 유음은 다른 자음들과는 달리 후행 모음에 영향을 받지 않았다.

이상의 결과를 통해 한국어 음소의 주파수 영역이 영어와는 다른 주파수 특성을 가지고 있음을 알 수 있었다. 한국어의 주파수 특성에 대한 자료는 난청자의 청력도 유형에 따른 어음 인지력을 예견하는데 중요한 정보를 제공해 줄 것이며, 우리나라 사람들에게 맞는 보청기 적합과 재활 훈련을 위한 평가나 치료 프로그램에도 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 후속 연구로 좀 더 다양한 언어 환경으로부터 수집한 자료의 음소 분석과 주파수 범위 내에서 각 음소에 대한 지각 검사의 실행이 필요하다고 사료된다.

중심 단어 : 한국어음소 · 자음 · 모음 · 주파수특성.

REFERENCES

1. Pavlovic CV. Speech recognition and five Articulation Index, Hearing Instruments. 1991;42(9):20-23.
2. Ling D. Foundations of Spoken Language for Hearing Impaired Children, Washington, D.C;1989.
3. 신지영. 말소리의 이해, 1판, 서울, 한국문화사;2000.
4. Yang B. An acoustical study of Korean monophthongs produced by male and female speakers. J Acoustical Soc Am. 1992;91(4):2280-2283.
5. 서경희 · 심홍임 · 고도흥. 청각장애 남성과 건청 남성이 산출한 단모음의 포먼트 특성, 언어치료연구;2002. p.239-253.
6. 서경식 · 김재영 · 김영기. 우리말 모음의 발음시 음형대와 조음위치의 관계에 대한 연구, 대한음성언어의학회지. 1994;5(1):44-48.
7. Tye-Murray M. Foundations of Aural Rehabilitation, 2 Edition, NY: Delmar Learning;2004.
8. Jongman A, Wayland R, Wong S. Acoustic characteristics of English fricatives. J Acoustical Soc Am. 1994;108:1252-1263.
9. Cho T, Jun S, Ladefoged P. An Acoustic and Aerodynamic Study of Consonants in Cheju, Speech Sci. 2000;7(1):109-140.
10. Hwang H. Spectral Characteristics of Frication Noise in Korean Sibilants, 말소리. 2000;49:31-50.
11. Halle MGW, Hughes JP, Radley A. Acoustic Properties of Stop Consonants, J Acoustical Soc Am. 1957;29(1):107-116.
12. Fant G. Formant bandwidth data. Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Reports STL/QPSR-1;1962. p.1-2.
13. Kent RD, Read C. The Analysis of speech, 2 Edition, NY: Thomson Learning;2002.

14. Yang B. A comparative study of American English and Korean vowels produced by male and female speakers, J Phonetics. 1996;24:45-261.
15. Skinner MW. The hearing of speech during language acquisition, Otolaryngologic Clin North Am. 1978;11(3):631-650.
16. Hagiwara R. Dialect variation and formant frequency: The American English vowels revisited, J Acoustical Soc Am. 1997;102:655-658.
17. Fujimura O. Analysis of nasal consonants. J Acoustical Soc Am. 1962;34:1865-1875.
18. Forrest K, Weismer G, Milenkovic P, Dougall RN. Statistical analysis of word initial voiceless obstruents: preliminary data, J Acoustical Soc Am. 1988;84:115-123.